

**І.В. Харченко, доц., канд. екон. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Організація роботи дільниці машинобудівного підприємства з допомогою графіків завантаження устаткування в кризових умовах

В статті наводяться способи оптимізації роботи дільниць малих і середніх машинобудівних підприємств і зменшення витрат при виконанні замовлень в кризових умовах при обмеженому застосуванні засобів автоматизації управління.

**машинобудівне підприємство, дільниця, календарний план-графік, розклад, завантаження устаткування, імітаційне моделювання, криза**

Організувати узгоджену роботу машинобудівного підприємства по виконанню замовлень в задані строки при раціональному використанні всіх ресурсів можна тільки при добрій роботі операційної системи на всіх рівнях - від підприємства до цеху і дільниці. Про це пише переважна більшість вітчизняних і закордонних видань. зокрема [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

На даний момент цьому питанню приділяється недостатня увага в українській науковій і навчальній літературі. Це видно навіть з кількості вітчизняних публікацій і підручників по цій темі. Найкращими вітчизняними роботами є видання ще радянських часів, зокрема [1,2,3]. Деякі роботи видаються в Росії, наприклад, [4]. Переважна більшість сучасної літератури в Україні по цій проблемі, якщо не вся, є закордонного походження, як, наприклад, [5,6,7].

Метою нашого дослідження було з'ясування можливостей використання раціональних способів побудови календарно-планових графіків (КПГ) роботи устаткування для допомоги роботі підприємствам в складний період економічної кризи, коли обсяг замовлень різко падає і необхідно всіляко економити кошти, при цьому не погіршуючи якості виробів і створюючи нормальні умови для роботи для робітників і виконавців. Чому саме календарних планів-графіків? Тому, що календарний план-графік дає відповідь на основні питання, що постають перед системою операційного менеджменту основним виробництвом, а саме: „які роботи виконувати”, „коли виконувати”, „де виконувати” (на якому робочому місці). Найвичерпніша інформація може бути отримана саме з календарних планів-графіків роботи виробничих підрозділів, в яких відображається послідовність виконання операцій для різних партій деталей і тривалість їх виконання на кожному робочому місці. Всю цю інформацію неможливо замінити тільки нормативними величинами партій і строками їх запуску-випуску у виробництво.

Як відомо, існує декілька груп методів побудови календарних планів-графіків, що відповідають тому чи іншому критерію оптимальності:

**І. Точні методи:**

а) методи зведення задачі календарного планування (КП) до задачі цілочисельного лінійного програмування, застосування динамічного програмування. Незважаючи на помітні успіхи деяких дослідників, не вдається подолати велику розмірність створюваних моделей, через що ці методи не знайшли практичного застосування;

б) комбінаторні методи: послідовного конструювання, аналізу та відсіювання варіантів, метод „гілок і меж”. Ці методи розвиваються і зараз, вони знаходять ширше застосування, але також є доволі трудомісткими і мають обмежене застосування через велику розмірність отриманих при рішенні задач.

## 2. Приблизні методи.

До них відносяться наступні: метод часткового перебору; метод спрямованого перебору; метод Монте-Карло; аналітико-пріоритетні і евристичні методи.

В зв'язку з розвитком і запровадженням економічних інформаційних систем виникла потреба у вирішенні задач календарного планування більшої розмірності, з урахуванням численних технологічних і економіко-організаційних обмежень. Це призвело до створення приблизних методів, що надають прийнятне рішення за короткі строки. Слід відмітити, що методи Монте-Карло, часткового і спрямованого перебору потребують багатоваріантних переборів, які ускладнюють і обмежують їх практичне застосування. В даній групі професор В.А.Петров виділяє частину методів, відносячи їх до аналітико-пріоритетних: „Серед наближених методів вирішення задач календарного планування є досить представницька група, яку ми виділяємо і відносимо до аналітико-пріоритетних методів. Відмінна особливість цієї групи складається з органічного використання при рішенні задачі математичної моделі, що будується виходячи з економіко-організаційної суті задачі, а також алгоритмів, що враховують найважливіші виробничі обмеження за допомогою ранжованих згідно значущості правил переваги (пріоритетів). Ці методи не повинні змішуватись з евристичними. В аналітико-пріоритетних методах існує математична модель у відповідності до функції – критерію, що дозволяє наблизити її рішення до оптимального, тоді як в евристичних методах така функція відсутня, або існує лише в неявно вираженій формі, або задається як локальна функція пріоритету”. І далі: “Обмеженість принципів пріоритету полягає в тому, що вони забезпечують локальну оптимізацію, не гарантуючи оптимізації процесу в цілому”.[ 2 ]. В цій групі необхідно виділити частину розробок, присвячених створенню моделюючих алгоритмів побудови календарних графіків з використанням правил переваги при вирішенні конфліктних ситуацій (конфліктною вважається ситуація, коли декілька деталей претендують на обробку на конкретному робочому місці). Ці методи знайшли найширше практичне застосування. Найбільш відомі алгоритми, що затвердили себе на практиці, наступних авторів: Е.Г. Іоффе, М.О. Мironосецкого, В.О. Петрова та деякі інші[ 1,2,3,4 ]. Створення кожного з цих алгоритмів – крок в розвитку теорії і практики КП. З цього приводу В.А.Петров писав: „Слід відмітити, що створення наближеного алгоритму рішення задачі календарного планування – алгоритму, що генерує календарні графіки, які згідно з термінологією дослідження операцій можна назвати „добрими” – складна і трудомістка задача. Для побудови ефективного евристичного алгоритму і його впровадження в практику планування потрібна напружена дослідницька робота за декілька людино-років”.[ 3 ]. З літератури відомо, що свій перший алгоритм А-І В.А.Петров опублікував і 1951 році, а найдосконаліший А-6М в 1979 році. Перший варіант алгоритму М.Б. Мironосецкого і І.П. Шубкіної був опублікований в 1966 році, а останні відповідно в 1973 і 1976 роках. Можна прослідкувати довгу історію створення і інших алгоритмів. Треба також зауважити, що евристичні методи складання КППГ використовуються і закордонними виробниками. Про це, наприклад, пише один з розробників системи “точно в строк” Я. Монден. [7]. І що дуже цікаво, самі алгоритми ніде не наводяться, мабуть, тому, що є предметом інтелектуальної власності.

Евристичні функції (правила) пріоритету (переваги) є базою як аналітико-пріоритетних, так і евристичних методів.

Основні типи функцій переваги:

- операційні, тобто такі, у яких аргументами виступають лише параметри операцій, що беруть участь у конфлікті. Приклади – правило SIO “shortest internal operation” – найкоротшої операції чи LIO “longest internal operation” – найдовшої операції;

- партійні – функції, аргументами яких є параметри більш, ніж однієї операції над партією деталей чи параметрами партії в цілому. Наприклад, функція, що реалізує „правило найбільшої тривалості циклу виготовлення”. Її модифікація – функція LRT (“longest remaining time” – найбільший час виготовлення, що залишився);

- ресурсні – функції, аргументами яких є ті чи інші параметри обладнання. До них можна віднести функцію, що реалізує вирішення конфліктної ситуації в  $K$ -ій групі обладнання на користь тієї операції  $q_{ijk}$ , для якої наступна по технології операція повинна виконуватись на одному із станків групи обладнання, що найменш забезпечені фронтом операцій.

Спосіб застосування функцій переваги може залежати також від динаміки розвитку процесу вирішення. З цієї точки зору можна виділити наступні функції переваги:

- статичні, значення яких обчислюється тільки на основі вихідної інформації і не залежать від варіанту розвитку процесу вирішення;

- динамічні, значення аргументів яких залежать від отриманого на момент часу  $t_s$  конфлікту варіанту часткового вирішення;

- прогнозні, при обчисленні яких береться до уваги і інформація про можливі варіанти розвитку процесу вирішення після моменту прийняття рішення.

Слід також відрізнити елементарний і комбінований засоби застосування функцій переваги. Елементарною називається побудова алгоритмів, коли в процесі пошуку одного варіанту вирішення аналітичний вираз функції переваги незмінний і однаково застосовуваний до всіх елементів моделі, що беруть участь в конфліктній ситуації. Комбінований засіб застосування передбачає наявність декількох різних аналітичних виразів функцій переваги, застосування яких в даній конкретній конфліктній ситуації регламентується виконанням певних умов. Комбіновані функції переваги базуються на елементарних.

Ефективності застосування різноманітних функцій переваги присвячено багато робіт. Серед усіх досліджених функцій виділяються більш або менш ефективні в різноманітних виробничих ситуаціях для досягнення тієї чи іншої мети. Однак, як справедливо відмічав професор В.М. Португал, „універсальних” функцій пріоритету немає: „Спільним недоліком усіх запропонованих функцій переваги, як простих, так і складних, є наступне. Експериментальна перевірка функцій переваги показує, що для кожної функції існують як задачі, для яких дана функція переваги приводить до вирішення, близького до оптимального, так і задачі, для яких застосування даної функції призводить до поганих результатів.”[3].

В зв'язку з цим особливу увагу було приділено до ускладнених функцій переваги і до комбінованого засобу їх застосування. Це дало змогу істотно згладити недоліки, властиві окремо взятим функціям.

Ця проблема детально висвітлена в [3]. Автори роблять наступні висновки: ”... з ефективністю евристичних функцій переваги доцільно співставити іншу їх важливу характеристику – витрати на застосування.

Ускладнення функції переваги не завжди викликає адекватне або хоча б помітне підвищення її ефективності. Часто результат буває зворотнім”. І далі: „...не слід абсолютизувати той чи інший засіб застосування функцій переваги. Кожен з них має

свої переваги і недоліки. Для обґрунтування їх вибору в кожній конкретній ситуації, а точніше, в класі ситуацій, слід детальніше проаналізувати їх порівняльні переваги”.

Алгоритм В.А. Петрова А-6М можна віднести до евристичних алгоритмів з динамічно-партіонною функцією переваги та комбінованим засобом її застосування у відповідності з наведеною вище класифікацією. Проте клас аналітико-пріоритетних алгоритмів, на нашу думку, представляє найбільший інтерес для дослідження. Метою нашого дослідження було порівняння найкращих моделюючих алгоритмів - В.А.Петрова, Е.Г.Юффе, та М.Б.Міроносецького - шляхом експериментів з імітаційними моделями, побудованими на їх базі. В результаті експериментів з'ясовано, що найкращим моделюючим алгоритмом для багатьох випадків є саме алгоритм В.А.Петрова, який і пропонується застосовувати для генерації графіків завантаження роботи дільниць в межах функціонування економічних інформаційних систем. На даний момент створена велика кількість економічних інформаційних систем як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Найкращі з них, наприклад, ВААН (застосовується на кіровоградському підприємстві “Гідросила”) генерують оптимізовані по певному критерію графіки завантаження роботи устаткування. Проблема полягає в тому, що такі системи коштують дуже дорого - від 150000 до декількох мільйонів доларів, тривалим є строк їх впровадження на підприємстві. Впровадження таких дорогих систем не під силу, та і недоцільно для середніх машинобудівних підприємств, як, наприклад, НВФ “Астра”. Це підприємство виготовляє біля 45 видів складного деревообробного устаткування. Складність конструкції машин ілюструє такий факт: підприємство самостійно виготовляє більше 11 тисяч найменувань деталей. В докризових умовах підприємство досить успішно працювало, незважаючи на значний податковий тиск. На даному етапі, коли попит на продукцію різко скоротився, підприємству треба перебудовувати свою роботу по організації виконання наявних замовлень. Складовою частиною механоскладального цеху є механічна дільниця з різнопрофільним машинобудівним обладнанням. Організація узгодженої роботи такої дільниці є складною задачею, тому що треба виконувати одночасно декілька неспівпадаючих вимог:

- а) жорстко дотримуватись послідовності технологічних процесів;
- б) надавати виготовлену продукцію в заплановані строки для скорочення терміну виконання замовлення і вивільнення обігових коштів;
- в) забезпечувати завантаженість устаткування;
- г) забезпечувати завантаженість робітників.

В докризових умовах завантаженість роботи устаткування і робітників досягалася за рахунок збільшення обсягів незавершеного виробництва, значні обсяги якого покривали об'єктивні складності в системі планування завантаження устаткування. Така ситуація була прийнятною, тому що добрий попит на якісну і за прийнятними цінами продукцію давав впевненість в тому, що продукція у вигляді незавершеного виробництва (НЗВ) буде рано чи пізно запитаною. На даний момент ситуація значно ускладнилася, як і на переважній більшості машинобудівних підприємств. Обсяги замовлень скоротилися, тримати великі обсяги НЗВ є непрпустимим марнотратством. Тому темою нашого дослідження була можливість організації економної роботи по виконанню замовлень в умовах використання обмежених коштів за допомогою побудови оптимізованих КПП в умовах обмеженого застосування засобів автоматизації управління. Для цього була використана імітаційна модель алгоритму В.А.Петрова з використанням мови імітаційного моделювання дискретних процесів GPSS World.[8]

Експерименти проводилися для двох випадків.

1-й випадок. На дільниці виготовляється 12 партій деталей на 5-ьох групах устаткування, в кожній групі по 2-і одиниці обладнання. У вихідному варіанті тривалість календарного плану-графіку (КПГ) роботи устаткування, оптимізованому по критерію мінімальної тривалості сукупного виробничого циклу, складає 54 робочих години. Якщо зменшувати кількість обладнання, що абсолютно реально в умовах скрутного становища на підприємствах в даний час, то тривалість виробничого циклу збільшиться. Здавалося, що тут дивного чи нового? Можна було б також зауважити, що чим більше завантажена група устаткування, в якій зменшується кількість обладнання, тим більш тривалим буде новий графік завантаження устаткування. Насправді це не зовсім так. В проведених нами імітаційних експериментах послідовно зменшувалася кількість обладнання в групах устаткування з 2-ох до одиниці. При цьому були отримані такі тривалості сукупних виробничих циклів.

Таблиця 1 – Тривалості сукупних виробничих циклів залежно від завантаження устаткування

Завантаження устаткування по групам, н-годин	36	54	64	70	76
Тривалість сукупного виробничого циклу, роб.годин	56	61	81	74	85

Як видно з цієї таблиці, тісного зв'язку між параметрами не існує. Так, якщо спробувати визначити між цими параметрами кореляційну залежність, то величина достовірності апроксимації при лінійній залежності складає  $R^2=0.73$ . при поліноміальній залежності (в переважній більшості випадків ця залежність дає максимально високу достовірність апроксимації)  $R^2=0.8$ . що говорить про відсутність тісноти зв'язку і неможливість достовірного прогнозування. Тобто не можна бути впевненим, що зменшивши кількість обладнання, що найменше завантажене, можна скоротити тривалість виробничого циклу в найбільшій мірі, добре завантажити устаткування і забезпечити виконання завдань в короткі терміни при економному використанні ресурсів. Щоб досягти такого результату, треба побудувати декілька графіків завантаження устаткування за допомогою ПЕОМ за відповідного програмного і математичного забезпечення. Чому треба використовувати ПЕОМ? Справа в тому, щоб побудувати вручну графік завантаження устаткування, оптимізований по будь-якому, навіть найпростішому критерію, треба витратити декілька годин роботи. Зрозуміло, що витратити стільки часу в момент, коли треба завантажувати устаткування, немає можливості. За допомогою ж ЕОТ час зміни умов експерименту (введення нових даних) складає лічені хвилини (за наявності відповідної кваліфікації), час генерації планів на ПЕОМ займає менше однієї секунди. Таким чином, провівши декілька машинних експериментів за декілька хвилин, можна вибрати найкращий варіант завантаження устаткування при даній чисельності робітників і обладнання, або визначити, яке обладнання, скільки і яких робітників треба задіяти при виконанні плану робіт та як вони будуть завантажені.

2-й випадок. Будувався КПГ роботи устаткування для 6 партій деталей (виходили з того, що в умовах кризи обсяги замовлень сильно скорочуються). Якщо будувати КПГ роботи устаткування за правилом “перший прийшов-перший обслужений” (в теорії розкладів це правило відоме як FIFO - first in. first on),

тобто не оптимізувати розклад, то його тривалість складала в розглянутому прикладі 55 роб.годин. Якщо ж використовувати оптимізуючі алгоритми, то розклад можна скоротити без залучення додаткових ресурсів до 47 робочих годин.

І в першому, і в другому випадках, скорочення тривалості виробничого циклу означає зменшення витрат на устаткування, на зарплатню та мінімізацію обігових коштів. За приблизними оцінками, економія тільки на зарплатні за рік може складати до 10-15 тис. гривень. Економія на придбанні устаткування може бути значно більшою.

Висновок. В умовах незавершеної або непобудованої економічної інформаційної системи застосування обмежених засобів автоматизації управління (персонального комп'ютера з набором програм, що може коштувати не більше 5 тис. гривень), може дати можливість істотно скоротити витрати на функціонування середніх і малих машинобудівних підприємств.

## Список літератури

1. Золотарев А.Н. Календарно-плановые расчеты серийного производства. –К.: Наукова думка, 1975.-199 с.
2. Петров В.А., Масленников А.Н., Осипов Л.А. Планирование гибких производственных систем. – Л.: Машиностроение, 1985.-182 с.
3. Подчасова Т.П., Португал В.М., Шкурба В.И. Эвристические методы календарного планирования. – К.: Техника, 1980.- 140 с.
4. В.А.Козловский, Т.В. Маркина, В.М.Макаров Производственный и операционный менеджмент. Учебник. СПб.: “Специальная литература“, 1998.- 366 с.
5. Чейз Р.Б.,Эквילайн Н.Дж., Якобс Р.Ф. Производственный и операционный менеджмент, 8-е издание.: Пер. с англ.: М.: Издательский дом “Вильямс“, 2001. -704 с.:ил
6. Оно Т. Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства/ Пер. с англ. 2-е изд. Доп. и перераб. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2006.-208 с.
7. Монден Я. Система менеджмента Тойоты./ Пер. с англ.. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2007.-216 с.
8. GPSS World students version.

В статье приводятся способы оптимизации работы участков малых и средних машиностроительных предприятий и уменьшения затрат при выполнении заказов в кризисных условиях при ограниченном использовании средств автоматизации управления.

The article lists the ways of optimization of allotted work of small and medium machine-building plants and reduction of inputs while performing the orders under crisis circumstances with restricted application of the means of management automation.

*Одержано 14.04.09*